УДК 004.896

В.Г. Писаренко[1], В.И. Сидоренко[2], Ю.В. Писаренко[1]
[1]Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев
[2]Президиум Национальной академии наук Украины
[1]Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 40
[1]*jvpisarenko@gmail.com*, [2]*vinf@nas.gov.ua*

Компоненты информационно-аналитической системы прогнозирования наводнений в предгорьях из-за быстрого снеготаяния

V.G .Pisarenko[1], J.V.Pisarenko[1], V.I. Sidorenko[2]
[1]*V.M. Glishkov Institute of Cubernetics of NASU Ukraine, Kyiv*
[2]*General Committee of NAS of Ukraine*
Ukraine, 03187, Kyiv, Glushkova ave, 40.

Classifiers Construction Based on Separate Hyper Surfaces

В.Г. Писаренко[1], В.І. Сидоренко[2], Ю.В. Писаренко[1]
[1]Інститут кібернетики НАН України ім. В.М. Глушкова,
[2]Президіум Національної академії наук України
Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40

Компоненти інформаційно-аналітичної системи прогнозування повеней у передгір'ях через швидке прогнозування

В статье конкретизируется авторская концепция «Управление_ТЭП» формирования информационно-аналитической системы (ИАС) поддержки принятия решений для оперативной доразведки и нейтрализации опасных техно-экологических происшествий (ТЭП) с целью прогнозирования паводка и наводнений из-за снеготаяния в предгорьях. Для создания реальной математической модели прогнозирования времени возникновения и величины наводнения в конкретной предгорной реке полезен математический алгоритм вычисления снегозапаса на текущий момент времени для заданного участка русла.
Ключевые слова: прогнозирование метеобедствий, поддержка принятия решений.

For forecast of snowmelt flood and high water in foothills, the author conception "Technical Ecological Accidents (TEA) Management" in considered. It is the conception for formation of informational analytical system (IAS) for decision making support for tactical detection and neutralizing of dangerous TEA. Six main parts of IAS conception "TEA Management" are divided. It is shown that the proposed mathematical algorithm for snow cover calculation in the given time and place is useful for creation of the real mathematical model of time and capacity of flood in the actual submontane river.
Key words: Forecasting weather disasters, decision support.

У статті конкретизується авторська концепція «Управління_ТЕП» формування інформаційно-аналітичної системи (ІАС) підтримки прийняття рішень для оперативної дорозвідки та нейтралізації небезпечних техніко-екологічних подій (ТЕП) щодо прогнозування повені через сніготанення в передгірській місцевості. Виділяється шість базових складових концепції ІАС «Управління_ТЕП». Показано, що для створення реальної математичної моделі прогнозування часу та розміру повені в конкретній передгірській річці, буде корисним запропонований у статті математичний алгоритм обчислення снігозапасу на поточний момент часу для заданої ділянки русла.
Ключові слова: прогнозування метеобедствій, підтримка прийняття рішень.

Введение

Проблема минимизации материального ущерба, причиняемого наводнениями в предгорьях из-за быстрого снеготаяния остается актуальной. Для Украинских Карпат эта проблема обостряется во многих предгорных регионах из-за бесконтрольной вырубки леса частными бизнес-структурами в зонах накопления снегозапаса. В работах авторов [1], [2] эта проблема анализировалась в контексте раннего обнаружения и нейтрализации опасных быстропротекающих ТЭП на основе создания предложенной в работе [1] ИАС «Управление_ТЭП».

Целью данной статьи является конкретизация базовых компонент ИАС «УПРАВЛЕНИЕ_ТЭП» для минимизации материального ущерба, причиняемого наводнениями из-за быстрого таяния снегозапаса в горах.

Компоненты концепции ИАС «УПРАВЛЕНИЕ_ТЭП»

Конкретизируя концепцию авторов ИАС «Управление_ТЭП», отметим, что для названных задач структура указанной ИАС для предгорных регионов повышенного риска наводнений предусматривает наличие и развитие следующих компонент ИАС:

1) наличие достаточно детальной карты местности с изолиниями высот, отображающей территорию водосбора как источник поверхностных вод, поступающих в рассматриваемое русло предгорной реки;

2) регулярное пополнение баз данных по динамике температуры воздуха (БД_ТВ), для всех N рассматриваемых участков русла реки (УРР), т.е. для всего множества участков УРР_i для $i = 1, 2, \ldots, N$);

3) регулярное пополнение баз данных по накоплению снегозапаса (и водозапаса из-за дождя) в зимне-весенний период на горных территориях, являющихся зоной водосбора и источником поверхностных вод, поступающих в рассматриваемый i-й участок русла предгорной реки, – это БД по водосбору для данного i-о участка русла (БДВ_УРР_i для $i = 1, 2, \ldots, N$). Достоверность и оперативность таких данных может быть значительно повышена в случае использования мобильных средств мониторинга, размещенных на специальных беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) [1], [2];

4) регулярное обновление всех доступных баз данных БДТ_УРР_i, где $i = 1, 2, \ldots, N$-1 по осадкам в виде снега и дождя, а также временной динамики уровня паводка для всех вышерасположенных зон русла (по отношению к рассматриваемому i-у участку русла);

5) наличие информационной и математической модели формирования вероятностного прогноза (краткосрочного и среднесрочного) времени возникновения и величины наводнения в предгорной реке при использовании обновлямых баз данных из п. 2 ,3;

6) одним из особенно важных компонентов математической модели прогнозирования времени возникновения и величины наводнения в предгорной реке является математическая модель вычисления «текущего» снегозапаса (т.е. на текущий момент времени t) для данного i-о участка русла.

Основная суть этой математической модели из п. 6 изложена в работе [1]. В этой модели расчета используется метод разбиения всего рассматриваемого объема горных пород со слоем снега на конечное множество так называемых «конечных элементов», имеющих вид шестигранников с прямоугольным нижним основанием При этом каждый такой шестигранник ограничен сверху участком соответствующей наклонной плоскости, обусловленной либо верхней границей текущего на момент времени t снегозапаса,

либо рельефом местности в летнее время. В отсутствие снежного покрова трехмерные координаты рельефа местности берутся из цифровой карты данной местности, упомянутой в п. 1.

Ниже подробно рассмотрена задача расчета снегозапаса на основе указанной модели.

Расчет объема снегозапаса для определения паводка

Проблема определения паводка реки при быстром таянии снегозапаса либо при сильных осадках включает в себя специфические задачи:

– учет текущего распределения снега на контролируемом участке рельефа;

– прогнозный расчет обусловленных рельефом путей миграции тающих поверхностных потоков воды;

– хранение и оперативное использование данных о метеоусловиях за предшествующие дни, ближайшие дни и часы.

Данные о снегозапасе в зоне воздействия на выбранное инженерное сооружение можно получить с помощью разведки рельефа беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). БПЛА должен быть оснащен программным обеспечением с элементами искусственного интеллекта, необходимыми для количественной оценки величины риска наводнения, воздействующего на зону инженерного сооружения: поселки, города и др. элементы техносферы, которые могут пострадать от наводнения, связанного с таянием снегозапаса, или интенсивными дождевыми потоками в зоне водозабора.

Как указывалось выше, в качестве источников поверхностных потоков воды в зимне-весенний период может быть тающий снегозапас (при наличии надлежащих метеоусловий) или осадки в виде дождя. В обоих случаях действие источника можно унифицировать с помощью понятия

$$\text{«эффективный дождь»} = \begin{cases} \text{сильные дождевые осадки;} \\ \text{вода от быстрого таяния снегозапаса;} \\ \text{при благоприятных метеоусловиях.} \end{cases}$$

Как уже отмечалось выше, карты рельефа обычно представлены либо в цифровом виде на равномерной сетке, либо изолиниями (т.е. линиями равных высот). На рис. 1а изображен пример горы в изометрии с нанесенными на ней воображаемыми линиями равных высот, каждая из которых соответствует определенному значению высоты. На рис. 1б показана схема получения линий равных высот для рельефа со снегом. На рис. 2 изображен вид сверху на этот же элемент рельефа.

Для расчета снегозапаса в заданной горной местности необходимо иметь карту рельефа интересующего района без снега, карту рельефа интересующего района со снегом, вычислить объем рельефа со снегом. Затем от полученного объема рельефа со снегом отнять объем рельефа без снега, в результате чего получим значение объема снегозапаса.

Чтобы рассчитать объем рельефа, условно разделим всю гору на элементарные объемы, вычислим объем каждого из них, а затем просуммируем все полученные значения элементарных объемов. Для этого на карту с изображением горы в виде линий равных высот рельефа (сплошная линия на рис. 2) и рельефа со снегом (пунктирная линия на рис. 2) нанесем сетку. Затем для каждого узла сетки найдем координаты x, y, z_c и z_p. Координата z_c – высота узла сетки относительно линий равных высот

рельефа со снегом, координата z_p – высота узла сетки относительно линий равных высот рельефа без снега. Для определения третьей координаты нужно установить, к каким двум линиям равных высот ближе всего находится текущий узел сетки и вычислить собственную высоту, на котором он находится по формуле:

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2} + \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{H_2 - H_1}{2}, \quad (1)$$

где H – высота текущего узла сетки; H_1 и H_2 – значения высот (рельефа со снегом и без), линии которых находятся ближе всех к интересующему узлу; R_1 и R_2 – расстояния от текущего узла до ближайших линий равных высот H_1 и H_2 соответственно. После того, как все 4 координаты всех узлов сетки получены, можно вычислить элементарные объемы рельефа и рельефа со снегом. Если возьмем часть от элементарного объема (рис. 1в), которая показана на рис. 1г, то значение ее объема вычисляется по формуле:

$$V_i = \frac{l^2 \cdot \left(3(z_3 - z_1)(z_2 - z_1) - (z_2 - z_1)^2 + (z_3 - z_2)^2\right)}{6}, \quad (2)$$

где координаты z_i, (i =1,2,3) при вычислении объема рельефа со снегом представляют собой z_{ci}, а при вычислении объема рельефа без снега равны $z_i = z_{Pi}$.

Объем снегозапаса вычисляется по формуле:

$$V = \left(\sum_i V_{i\,снега+рельефа}\right) - \left(\sum_i V_{i\,рельефа}\right). \quad (3)$$

Расчет величины паводка реки

Рассмотрим вычисление значения паводка в условиях стекания в заданную реку воды [3], выпавшей в виде дождя на горный рельеф или образовавшейся из-за снеготаяния в верховьях горы:

1) для каждого сектора нужно задать коэффициент впитываемости (например, коэффициент впитываемости песка равен 1, камня – 0), определяющий, какая часть воды впитается в толщу, а какая часть стечет на нижний сектор;

2) вычисляется площадь каждого полученного сектора;

3) для каждого сектора определяется количество воды, оказывающееся на нем за один шаг по времени.

За один шаг по времени на i-м секторе будет масса воды, попавшая на этот сектор в результате выпадения дождя (снеготаяния), плюс масса воды, стекшая с верхнего сектора. Предполагается, что стекшая с одного из участков вода попадает в реку. Если прирост массы воды (например, за один день) будет таким, что повлечет за собой сильный паводок, то река выйдет из берегов, и произойдет затопление прибрежных районов. Теперь рассчитаем значение паводка реки, в которую стекает с горного рельефа вода.

На рис. 3а изображена река и источник S (снегозапас или дождевая туча), питающий эту реку. Точка О – граница источника воды, точка А – начало населенного пункта. На рис. 3б изображено сечение русла реки в точке контроля А, удаленной на расстояние XA от нижней части зоны источника S. На этом рисунке ось оу совпадает с уровнем ледостава (минимальный уровень реки); b – ширина реки при минималь¬ном уровне воды.

а)

б)

в)

г)

M_3 (x_3, y_3, z_3)

M_2 (x_2, y_2, z_2)

M_1 (x_1, y_1, z_1)

$z_1 - z_2$

Рисунок 1 – Представление рельефа изолиниями (а, б);
два базовых элемента объема рельефа (в, г)

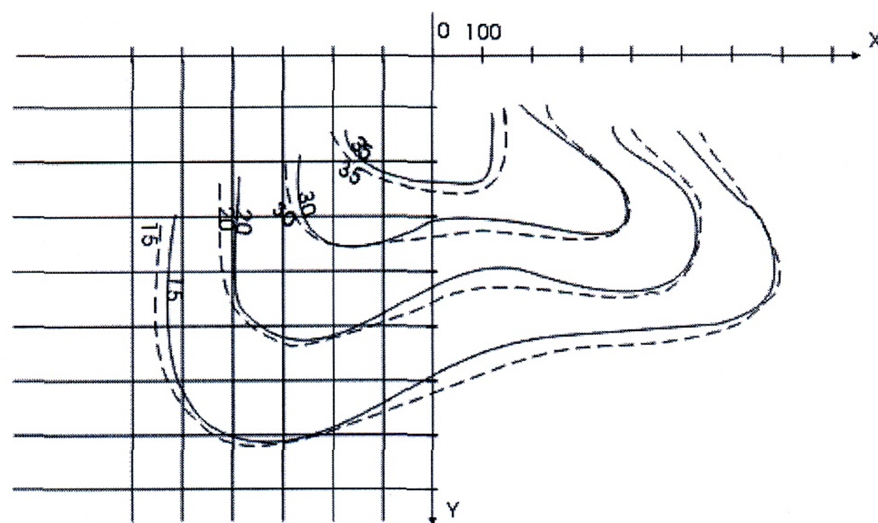


Рисунок 2 – Нанесение сетки и считывание координат узлов сетки

Форму сечения левого берега (рис. 3б) можно смоделировать отрезком прямой в виде следующего выражения:

$$h_{л}(y) = K_{л}\cdot y - K_{л}\cdot b, \qquad (4)$$

а правый берег – аналогичной формулой:

$$h_{п}(y) = -K_{п}\cdot y, \qquad (5)$$

где $K_{п}$ и $K_{л}$ – соответствующие тангенсы углов наклона α и β берегов реки.

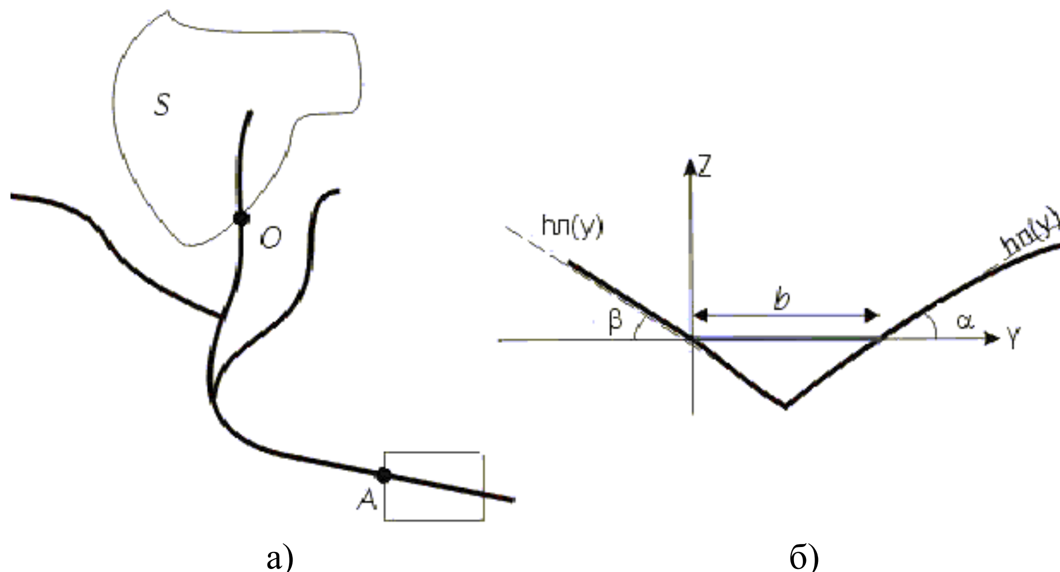


Рисунок 3 – Река, положение источника водных масс для наводнения и сечение русла: а) изображение в плане реки и источника S (снегозапас или дождевая туча); б) сечение русла реки в точке контроля *A*

Если скорость течения V_A известна для точки *A* (пусть она ≈ *const* во времени), то можно вычислить значение паводка реки при известном приросте массы воды за интервал времени, поступающей в реку, из следующего интегрального уравнения:

$$\frac{1}{V_A\cdot\rho_{воды}}\cdot\frac{dM\left(t-\dfrac{x_A}{V_A}\right)}{dt} = bz + \int\limits_{y_{п}(z)}^{0}\left[z-h_{п}(y)\right]dy + \int\limits_{b}^{y_{л}(z)}\left[z-h_{л}(y)\right]dy. \qquad (6)$$

В уравнении (6) $y_{п}(z)$ – это решение уравнения

$$h_{п}(y) = z. \qquad (7)$$

При подстановке (7) в (5) получим решение для $y_{п}(z)$:

$$K_{п}\cdot y = z \;\Rightarrow\; y_{п}(z) = -z/K_{п}\,. \qquad (8)$$

В (6) $y_{л}(z)$ представляет собой решение уравнения

$$h_{л}(y) = z. \qquad (9)$$

При подстановке (9) в (4) получаем решение для $y_{л}(z)$:

$$K_{л}\cdot y - K_{л}\cdot b = z \;\Rightarrow\; y_{л}(z) = b + z/K_{л}. \qquad (10)$$

Таким образом, пользуясь формулами (6) – (10), можно вычислить уровень паводка z реки для известного прироста массы воды за заданное время и скорости течения в точке *A* (рис. 3а). Если z будет таким, что река выйдет из берегов, то по карте рельефа легко определить затопленные территории и вычислить величину экономического ущерба от наводнения.

Выводы

Предложена концепция и базовые компоненты информационно-аналитической системы (ИАС) и описаны ее структурно-функциональные составляющие для поддержки принятия решений по оперативной доразведке и нейтрализации опасных технико-экологических происшествий (ТЭП) «Управление_ТЭП» типа наводнения из-за таяния снегозапаса. Разработана информационная модель, алгоритмическое и программное обеспечение (входящие в состав названной ИАС) для оперативного расчета величины ожидаемого риска природного бедствия типа наводнения в предгорной местности с оценкой ожидаемого ущерба, которое может быть рекомендовано для использования в ситуационных центрах регионов, подверженных наводнениям из-за таяния снега в горах. Показано, что вычисление снегозапаса на участке горного рельефа ускоряется в случае получения оперативной информации с использованием мониторинговой аппаратуры на БПЛА с элементами искусственного интеллекта.

Литература

1. Писаренко В.Г. Некоторые задачи проектирования геоинформационных систем прогнозирования метеобедствий / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко. – Киев : ООО «Аримойя», 2002. – 105 с.
2. Писаренко Ю.В. Виртуальное проектирование интеллектуализированных роботов для разведки и нейтрализации опасных экологических происшествий : автореф. дис. канд. техн. Наук / Ю.В. Писаренко. – Киев, 2005. – 20 с.
3. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости / Бэтчлор Дж. – М. : Мир, 1973. – 760 с.

Literatura

1. Pisarenko V.G. Nekotorye zadachi proektirovanija geoinformacionnyh sistem prognozirovanija meteobedstvij. Kiev: OOO “Arimojja”. 2002. 105 s.
2. Pisarenko Ju.V. Virtual’noe proektirovanie intellektualizirovannyh robotov dlja razvedki i nejtralizacii opasnyh jekologicheskih proisshestvij. Avtoreferat dissertacii kand. tehn. nauk. Kiev. 2005. 20 s.
3. Bjetchelor Dzh. Vvedenie v dinamiku zhidkosti. M.: Mir.1973. 760 s

RESUME

Pisarenko V.G., Sidorenko V.I., Pisarenko Yu.V.

Components of Information Analytical System for Snowmelt Flood Forecasting in Foothills

The problem of property loss minimization when flooding in foothills because of quick snowmelt continues to be relevant. For Ukrainian Carpathians, this problem becomes actual in many foothill regions because of uncontrolled deforestation of snow cover zones by private organizations. In the works of the authors [1] [2], this problem is analyzed in the context of early detection and neutralizing of dangerous TEA on the basis of IAS conception “TEA Management”, which is proposed in the work [1].

The conception and basic components for IAS are proposed, conception structural and functional parts for decision making support on tactical detection and neutralizing of dangerous TEA such as snowmelt flood are described.

Informational model, algorithmic and software (included in this IAS) for quick calculation of risk multitude in such natural disaster as flood in foothill region with the estimation of damage are developed. This ware may be recommended to be used in situational centers of regions, which suffer from snowmelt floods. It is shown that calculation of snow cover in the part of mountains becomes quicker if current data is received with use of monitoring devices at UAV with the elements of artificial intelligence.

Статья поступила в редакцию 03.07.2012.